

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-194109  
(43)Date of publication of application : 19.07.2001

(51)Int.Cl. G01B 11/00  
G01D 5/26

(21)Application number : 2000-006742 (71)Applicant : NIPPON KOEI YOKOHAMA WORKS CO LTD

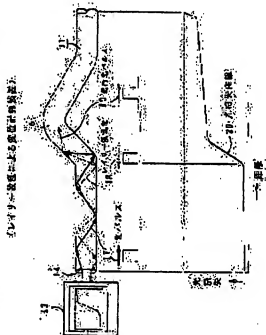
(22)Date of filing : 14.01.2000 (72)Inventor : MURAKAMI MASATO

## (54) DISPLACEMENT MEASURING APPARATUS USING RAYLEIGH SCATTERING

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide an apparatus for continuously and safely measuring the displacement of a civil engineering structure by use of Rayleigh scattering occurring in an optical fiber, while amplifying microscopic displacements.

**SOLUTION:** The apparatus detects the displacement of the civil engineering structure 12 from changes in the backscattered light of a light pulse input to the optical fiber 11. The optical fiber 11 is fixedly connected to the displacement amplifying rod 23 of a displacement amplifying means 21 provided in a displacement detecting part. When it is assumed that a crack 29 occurs in the civil engineering structure 12 and the structure 12 is displaced by x, the distance over which the fiber supporting point 27 of the displacement amplifying means 21 is displaced is amplified for detection. When the optical fiber 11 is pulled by the displacement amplifying rod 23, it is curved at an acute angle and the amount of backscattered light decreases sharply. This is measured by an optical time domain reflection measuring instrument 13. The distance to the place of occurrence of the crack 29 is determined from light reception time and the velocity of light within the optical fiber 11.



### LEGAL STATUS

[Date of request for examination]  
[Date of sending the examiner's decision of rejection]  
[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted]

registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of requesting appeal against  
examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

**\* NOTICES \***

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

**DETAILED DESCRIPTION**

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to the displacement metering device using Rayleigh scattering for measuring the variation rate of a soil tree structure object etc. using the back scattered light (henceforth Rayleigh scattering) of an optical fiber.

[0002]

[Description of the Prior Art] In order to have inspected deformation (distortion) of a tunnel, a bridge, and other soil tree structure objects conventionally, human being patrolled the dark tunnel etc. on foot, variation rates, such as a crack, were looked for by visual inspection, or test mortar was applied to the part which the variation rate has produced, and the variation rate was checked according to the condition of this test mortar.

[0003]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] Like before, by the approach which human being patrols on foot and does visual inspection, long-distance inspection took much time amount, and there was a problem that it could not always observe continuously. Moreover, in the tunnel which the crack etc. has already generated, since it did not understand when a cave-in, a mudslide, etc. would occur, the problem that risk was too large was to observe the progress condition. Moreover, mm unit or in the case of not more than it, by the soil tree structure object or the base rock, there was a problem that it was difficult decision of the progress condition according [ progress of a crack ] to viewing to be not only very difficult, but to grasp a change with time.

[0004] This invention aims at offering the equipment which moreover amplifies minute displacement safely and measures continuously the variation rate of huge soil tree structure objects, such as a tunnel, certainly safely by using Rayleigh scattering of an optical fiber.

[0005]

[Means for Solving the Problem] In the equipment which detected the variation rate of said soil tree structure object 12 by change of the back scattered light of the light pulse which this invention spread the optical fiber 11 around the soil tree structure object 12, and was inputted into the end of this optical fiber 11 the variation rate of said soil tree structure object 12 -- a detection part -- a variation rate -- the magnification means 21 -- preparing -- this variation rate -- the variation rate of the magnification means 21 -- the magnification rod 23 -- said optical fiber 11 -- connection immobilization -- carrying out -- becoming -- a variation rate -- the magnification means 21 The displacement transfer member 22 and the displacement magnification rod 23 are connected free [ rotation ] by the end point 24. The fixed point 25 of the displacement transfer member 22 It is attached in one wall surface of the soil tree structure object 12 which sandwiched the crack 29 fixed. Moreover, the fixed point 26 of the displacement magnification rod 23 It is attached fixed [ the fixed point 25 which sandwiched the crack 29 ] on the wall surface of the soil tree structure object 12 of an opposite hand. Said fixed point 26 It is the displacement metering device which was set as the nearest possible location from the end point 24, and used for the point of said displacement magnification rod 23 Rayleigh scattering characterized by

forming the fiber supporting point 27 which supports an optical fiber 11.

[0006] In the above configurations, if the crack 29 should occur in the soil tree structure object 12 and only x should carry out displacement migration, the displacement travel in the fiber supporting point 27 will be amplified and detected.

[0007] If an optical fiber 11 is pulled by the displacement magnification rod 23, it will be bent by the acute angle in the location of the acute edge 46. By acute angle bending of this optical fiber 11, the amount of scattered lights to back decreases sharply. This is measured with the optical time domain reflective measuring instrument 13. The distance of the generating point of a crack 29 is found from the light-receiving time amount at this time, and the velocity of light within an optical fiber 11.

[0008]

[Embodiment of the Invention] There are Rayleigh scattering, a Brillouin scattering, and Raman scattering in the scattering phenomenon in an optical fiber 11, and the spectrum of these scattered lights is shown in drawing 7. Rayleigh scattering is produced by consistency fluctuation in the medium of a component with the same frequency as incident light. A Brillouin scattering is produced by the interaction of the component for which a frequency differs from incident light slightly, and the acoustic wave in a medium. Raman scattering is produced by interactions, such as a component for which a frequency differs from incident light slightly, and molecular vibration in a medium.

[0009] This invention explains the principle of this invention based on drawing 1 about the equipment which measures the variation rate of a soil tree structure object etc. among the scattering phenomena in the above optical fibers 11 using Rayleigh scattering. 11 is an optical fiber and this optical fiber 11 is attached in the measured part of the huge soil tree structure objects 12, such as a tunnel. The end face section 14 of said optical fiber 11 is combined with the optical time domain reflective measuring instrument 13.

[0010] In such a configuration, if a light pulse 17 is sent into an optical fiber 11 from the optical time domain reflective measuring instrument 13, this light pulse 17 will spread the interior of an optical fiber 11. Here, the variation rate should arise at least in test sections-ed, such as a wall surface of the soil tree structure object 12, and the flection 16 should arise in the optical fiber 11 in connection with this. Then, a part of light pulse 17 serves as the Rayleigh-scattering light 18 by the part of this flection 16, a part of light pulse 17 is returned to the end face section 14 side, and the remainder serves as the progress light pulse 19, and is spread to an end 15 side.

[0011] In the part of a flection 16, since bigger optical loss than a straight-line part arises, the dip of the optical loss curve 20 becomes large by this part. Moreover, the big optical loss also by end 15 part of an optical fiber 11 arises. This optical loss curve 20 is the display of the optical time domain reflective measuring instrument 13, and optical loss and an axis of abscissa are displayed as a laying distance of an optical fiber 11 in an axis of ordinate.

[0012] Although the laying distance of an optical fiber 11 is determined by the die length of the soil tree structure object 12, the distance from the soil tree structure object 12 to the installation of the optical time domain reflective measuring instrument 13, etc., it is possible to about 10km.

[0013] In order to catch the Rayleigh scattered light 18 in an optical fiber 11, it is required that a diameter makes it crooked to about 7mm with the variation rate of an optical fiber 11. However, the variation rate of the soil tree structure object 12 is minute, and it is difficult to catch the direct Rayleigh-scattering light 18 from crookedness of an optical fiber 11.

[0014] Then, it enables it to also have detected the variation rate not more than 1mm or it by amplifying and detecting the variation rate of the soil tree structure object 12 in this invention. Drawing 2 - drawing 5 explain as an example the case where the soil tree structure object 12 is a tunnel about the displacement magnification means 21 which made this possible. Although it fixes to 1m spacing extent and spreads around from several 10cm in the soil tree structure object 12 as an optical fiber 11 is shown in drawing 2, said displacement magnification means 21 is attached in parts which are going to measure a variation rate, such as a generating part of the crack 29 in the soil tree structure object 12. This displacement magnification means 21 consists of a part which amplifies and detects a variation rate, and a part which makes an optical fiber 11 more certainly crooked with that variation rate.

[0015] said variation rate -- the magnification means 21 is shown in drawing 3 -- as -- a variation rate -- the transfer member 22 and a variation rate -- the magnification rod 23 connects free [ rotation ] by the end point 24 -- having -- said variation rate -- the fixed point 25 of the transfer member 22 It is attached in one wall surface of the soil tree structure object 12 which sandwiched the crack 29 fixed, and the fixed point 26 of the displacement magnification rod 23 is attached fixed [ the fixed point 25 which sandwiched the crack 29 ] on the wall surface of the soil tree structure object 12 of an opposite hand. Said fixed point 26 is set as the nearest possible location from an end point 24. Moreover, the fiber supporting point 27 which supports an optical fiber 11 fixed is formed in the point of the displacement magnification rod 23. The crookedness generator 30 is formed in the both sides of said fiber supporting point 27, respectively, and the optical fiber 11 is being further fixed to the soil tree structure object 12 by the fiber fastener 28 in the location of each outside.

[0016] Said crookedness generator 30 is explained based on drawing 4 and drawing 5. Said crookedness generator 30 consists of a cover plate 36 which die length of one side puts on the vessel body 35 of the corrosion resistance whose thickness is about 1cm, and this vessel body 35 by about 5-10cm. The 1st crevice 39 and the 2nd crevice 40 are several times the depth of the diameter of an optical fiber 11, and it is mutually open for free passage, and is formed in said vessel body 35, and the advice projected part 42 is formed in the 1st crevice 39 side of this free passage part. The gap parts of the periphery of this advice projected part 42 and the inner circumference of the 1st crevice 39 serve as a diameter of an optical fiber 11, and the advice path 43 of abbreviation identitas, and the ends part of the advice projected part 42 serves as the acute edge 46.

[0017] It inserts from the right-and-left both-sides section of said 1st crevice 39, free passage formation of the hole 37 is carried out to the exterior, the middle serves as a diameter of an optical fiber 11, and the neck 38 of abbreviation identitas, and this plug hole 37 is opening a part for ends opening of this neck 38 for free passage outside while it spreads in the shape of a trumpet and is open for free passage to the 1st crevice 39. the periphery of said advice projected part 42 -- confronting each other -- and the diameter of an optical fiber 11 and abbreviation -- it has the same spacing, and a supporter 44 \*\*\*\*s with a washer 49 and is attached by 45.

[0018] It twists in the center of abbreviation of said 2nd crevice 40 with spacing which twists an optical fiber 11 several times and can do it, the section 41 is formed in it, and this anchoring hole 48 that twists and penetrates the section 41 and said cover plate 36 is drilled in it. 47 is an assembly hole for anchoring of a vessel body 35 and a cover plate 36.

[0019] In this condition, it inserts in from one plug hole 37 of a vessel body 35 to a neck 38 and the 1st crevice 39, and further, an optical fiber 11 is twisted inside the 2nd crevice 40 through the advice path 43, is twisted around the section 41 once or twice, and is again inserted in the 1st crevice 39 through the advice path 43 of another side, and it is taken out from the plug hole 37 of another side through a neck 38.

[0020] In order to set said optical fiber 11 in the crookedness generator 30, an optical fiber 11 is inserted in with sufficiently big radius of curvature so that it may become a small bending loss as much as possible inside the 1st crevice 39 and the 2nd crevice 40. When an optical fiber 11 applies a supporter 44 to the part which crosses at the advice paths 43 and 43, \*\*\*\*s with a washer 49 and next binds tight by 45, an optical fiber 11 is fixed.

[0021] Similarly, an optical fiber 11 is inserted in the vessel body 35 of all the crookedness generators 30, and it fixes to it. At this time, as the hauling force is not applied to an optical fiber 11, it fixes to it with the fiber fastener 28.

[0022] An operation when a crack 29 next occurs in the soil tree structure object 12 is explained. In drawing 3, the crack 29 should occur in the optical fiber 11. a variation rate -- the transfer member 22 is fixed in the fixed point 25 -- having -- a variation rate -- since the magnification rod 23 is being fixed in the fixed point 26 -- a crack 29 -- the direction of a graphic display arrow head -- x -- a variation rate -- if it should move -- the fixed point 26 -- the same -- x -- a variation rate -- it moves. However, since it connects with the displacement transfer member 22, an end point 24 is not displaced.

[0023] Here, if between distance is set to b for the distance from an end point 24 to the fixed point 26

from a and the end point 24 to the fiber supporting point 27, the displacement travel  $y$  in the fiber supporting point 27 will serve as  $y=x \cdot b/a$ . When  $b>a$ , it means that it was amplified only  $b/a$  times (about at least 10 times).

[0024] If an optical fiber 11 is pulled by the displacement magnification rod 23, as shown in the chain line of drawing 3 and drawing 4, an optical fiber 11 will be bent by the acute angle in the location of the acute edge 46 of the advice projected part 42, or an optical fiber 11 will cut it in the location of this acute edge 46 depending on the case.

[0025] By acute angle bending or cutting of this optical fiber 11, bending loss of an optical fiber 11 increases rapidly, and the amount of scattered lights to back decreases sharply. This is measured by OTDR in the optical time domain reflective measuring instrument 13 (optical fiber RIFUREKUTO meter). Since the quantity of light detected with this optical time domain reflective measuring instrument 13 is feeble, it performs equalization processing repeatedly and serves as a wave like drawing 1. The distance of a disaster generating point is found from the light-receiving time amount at this time, and the velocity of light within an optical fiber 11.

[0026] If the optical time domain reflective measuring instrument 13 is carried out in this way and variation rates, such as a crack 29, are detected in the soil tree structure object 12, a manager etc. will be told about it through an internal dispatch circuit etc.

[0027] Although the displacement  $y$  after magnification becomes in the same direction as the direction of a variation rate  $x$  and the crookedness generator 30 of the left-hand side in drawing serves as crookedness point of application in said example shown in drawing 3 since the location of the fixed point 26 of the displacement magnification rod 23 was prepared between the end point 24 and the fiber supporting point 27. In the location of the fixed point 26, on both sides of an end point 24, it is good also as an opposite direction, and in this case, the displacement  $y$  after magnification becomes a variation rate  $x$  and an opposite direction, and the crookedness generator 30 by the side of drawing Nakamigi serves as crookedness point of application.

[0028] Said crookedness generator 30 is not restricted to structure as shown in drawing 4 and drawing 5, easy structure as shown in drawing 6 is sufficient, in short, when an optical fiber 11 is pulled, by changing from the large diameter L1 to the small diameter L2, bending loss of an optical fiber 11 increases rapidly, and the amount of scattered lights to back should just decrease sharply.

[0029] moreover, said variation rate -- a variation rate as shows the magnification means 21 to drawing 3 -- the transfer member 22 and a variation rate -- it may not be restricted to what constituted the magnification rod 23 as a subject, and you may be a gearing and the thing which amplifies a variation rate according to other devices, and can be detected.

[0030]

[Effect of the Invention] As compared with the approach which human being like before patrols on foot, and does visual inspection, long-distance inspection can always observe continuously in a short time. Moreover, since direct human being does not need to go into the tunnel 12 which has generated the crack 29 except the time of installation of an optical fiber 11 and the displacement magnification means 21, it is safe even if a cave-in, a mudslide, etc. occur.

[0031] The thing not more than mm unit or it for which decision of a progress condition is very exact and progress of the crack 29 in the soil tree structure object 12, a base rock, etc. grasps a change with time with the displacement magnification means 21 even if minute is easy. Since it considered as the configuration which formed the advice projected part 42 which has the acute edge 46 in this fixed position, the crookedness generator 30 does not have the components which carry out movable mechanically, and even if it is as [ \*\* / which was installed for a long period of time ], it operates certainly, while carrying out receipt immobilization of the middle of an optical fiber 11 with curvature which serves as a small bending loss as much as possible.

---

[Translation done.]

(51) Int.Cl.	観測番号	F I	チート (参考)
G 0 1 B 11/00		C 0 1 B 11/00	A 2 F 0 6 J
G 0 1 D 5/26		C 0 1 D 5/26	D 2 F 1 0 3

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 6 頁)

(21) 出願番号 特願2000-6742(P2000-6742)

(22) 出願日 平成12年1月14日(2000.1.14)

(71) 出願人 300000188  
株式会社 日本工営横浜事業所  
神奈川県横浜市港北区新吉田町2940番地

(72) 発明者 村上 正人  
神奈川県横浜市港北区新吉田町2940番地  
株式会社日本工営横浜事業所内

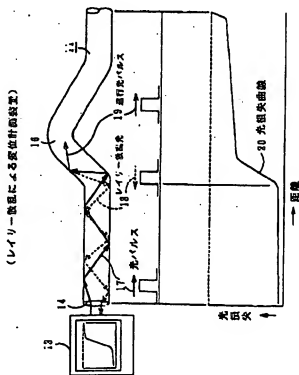
(74) 代理人 100076255  
弁理士 古澤 俊明 (外1名)  
Fターム(参考) 2F06S AA09 AA18 BB05 CC00 DD08  
FF41 KK01 LL02 QQ42  
2F103 CA07 EB02 EC08

(54) 【発明の名称】 レイリー散乱を利用した変位計測装置

(57) 【要約】

【課題】 光ファイバーのレイリー散乱を利用して土木構造物の変位を連続的に、安全に、しかも微小変位を増幅して確実に計測する装置を提供すること。

【解決手段】 光ファイバ11に入力した光パルスの後方散乱光の変化により土木構造物12の変位を検知する装置において、変位検出個所に設けた変位増幅手段21の変位増幅ロッド23に光ファイバ11を連結固定する。土木構造物12に亀裂29が発生し、xだけ変位移動したものとすると、変位増幅手段21のファイバー支持点27における変位移動距離は、増幅されて検出される。光ファイバ11が変位増幅ロッド23により引っ張られると、鋭角に曲げられ、後方への散乱光量は、激減する。これを光学時間領域反射測定器13によって計測する。このときの受光時間と光ファイバ11内の光速から亀裂29の発生地点の距離が求められる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 光ファイバ11を土木構造物12に張り巡らし、この光ファイバ11の一端に入力した光パルスの後方散乱光の変化により前記土木構造物12の変位を検知するようにした装置において、前記土木構造物12の変位検出箇所に変位増幅手段21を設け、この変位増幅手段21の変位増幅ロッド23に前記光ファイバ11を連結固定してなることを特徴とするレイリー散乱を利用した変位計測装置。

【請求項2】 変位増幅手段21は、変位伝達部材22と変位増幅ロッド23とが連結点24にて回動自在に連結され、変位伝達部材22の固定点25は、亀裂29を挟んだ土木構造物12の一方の壁面に固定的に取り付けられ、また、変位増幅ロッド23の固定点26は、亀裂29を挟んだ固定点25とは反対側の土木構造物12の壁面に固定的に取り付けられ、前記固定点26は、連結点24からできるだけ近い位置に設定され、前記変位増幅ロッド23の先端部には、光ファイバ11を支持するファイバ支持点27が設けられていることを特徴とする請求項1記載のレイリー散乱を利用した変位計測装置。

【請求項3】 変位増幅手段21は、変位伝達部材22と変位増幅ロッド23とが連結点24にて回動自在に連結され、変位伝達部材22の固定点25は、亀裂29を挟んだ土木構造物12の一方の壁面に固定的に取り付けられ、また、変位増幅ロッド23の固定点26は、亀裂29を挟んだ固定点25とは反対側の土木構造物12の壁面に固定的に取り付けられ、前記固定点26は、連結点24からできるだけ近い位置に設定され、前記変位増幅ロッド23の先端部には、光ファイバ11を支持するファイバ支持点27が設けられ、このファイバ支持点27の両側には、それぞれ屈曲発生装置30が設けられ、さらにそれぞれの外側の位置で光ファイバ11が土木構造物12に固定されていることを特徴とする請求項1記載のレイリー散乱を利用した変位計測装置。

【請求項4】 変位増幅手段21は、変位伝達部材22と変位増幅ロッド23とが連結点24にて回動自在に連結され、変位伝達部材22の固定点25は、亀裂29を挟んだ土木構造物12の一方の壁面に固定的に取り付けられ、また、変位増幅ロッド23の固定点26は、亀裂29を挟んだ固定点25とは反対側の土木構造物12の壁面に固定的に取り付けられ、前記固定点26は、連結点24からできるだけ近い位置に設定され、前記変位増幅ロッド23の先端部には、光ファイバ11を支持するファイバ支持点27が設けられ、このファイバ支持点27の両側には、それぞれ屈曲発生装置30が設けられ、さらにそれぞれの外側の位置で光ファイバ11が土木構造物12に固定され、前記屈曲発生装置30は、光ファイバ11の途中を可及的に小さな曲げ損となるような曲率を持って収納固定するとともに、この固定位置に

先鋭端部46を有する案内突部42を設けてなることを特徴とする請求項1記載のレイリー散乱を利用した変位計測装置。

【請求項5】 屈曲発生装置30は、耐腐食性の器体35と蓋板36からなり、前記器体35内に、第1凹部39と第2凹部40を互いに連通して形成し、この連通部分との間に案内通路43を持って両端部分を先鋭端部46とした案内突部42を設け、前記第1凹部39の左右両側部から外部まで途中にくりぬき38を有する差し込み孔37を連通形成し、前記第2凹部40内に、案内突部42との間に光ファイバセンサ32の直径と略同じ間隔をもって保持体44を設けてなることを特徴とする請求項4記載のレイリー散乱を利用した変位計測装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光ファイバーの後方散乱光（以下、レイリー散乱という）を用いて土木構造物などの変位を計測するためのレイリー散乱を利用した変位計測装置に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】従来、トンネル、橋梁、その他の土木構造物の変形（歪）を検査するには、人間が暗いトンネルなどを徒歩で巡回し目視点検によりクラックなどの変位をさがしたり、変位が生じている箇所にテストモルタルを塗布し、このテストモルタルの状態により変位を確認していた。

## 【0003】

【発明が解決しようとする課題】従来のように、人間が徒歩で巡回し目視点検する方法では、長距離の点検作業に多くの時間を要し、連続的に常時観測できないという問題があった。また、すでに亀裂などが発生しているトンネルなどでは、落盤や土砂崩れなどがいつ発生するかわからないので、その進行状態を観測するための危険が大きすぎるという問題があった。また、土木構造物や岩盤などでは、亀裂の進行がmm単位かそれ以下の場合、目視による進行状態の判断がきわめて困難であるだけでなく、経時的な変化を把握するのが困難であるという問題があった。

【0004】本発明は、光ファイバーのレイリー散乱を利用することによって、トンネルなどの長大な土木構造物の変位を連続的に、安全に、しかも微小変位を増幅して確実に計測する装置を提供することを目的とするものである。

## 【0005】

【課題を解決するための手段】本発明は、光ファイバ11を土木構造物12に張り巡らし、この光ファイバ11の一端に入力した光パルスの後方散乱光の変化により前記土木構造物12の変位を検知するようにした装置において、前記土木構造物12の変位検出箇所に変位増幅手段21を設け、この変位増幅手段21の変位増幅ロッド



23に前記光ファイバ11を連結固定してなり、変位増幅手段21は、変位伝達部材22と変位増幅ロッド23とが連結点24にて回動自在に連結され、変位伝達部材22の固定点25は、亀裂29を挟んだ土木構造物12の一方の壁面に固定的に取り付けられ、また、変位増幅ロッド23の固定点26は、亀裂29を挟んだ固定点25とは反対側の土木構造物12の壁面に固定的に取り付けられ、前記固定点26は、連結点24からできるだけ近い位置に設定され、前記変位増幅ロッド23の先端部には、光ファイバ11を支持するファイバ支持点27が設けられていることを特徴とするレイリー散乱を利用した変位計測装置である。

【0006】以上のような構成において、土木構造物12に亀裂29が発生し、 $x$ だけ変位移動したものとすると、ファイバ支持点27における変位移動距離は、増幅されて検出される。

【0007】光ファイバ11が変位増幅ロッド23により引っ張られると、先鋭端部46の位置で鋭角に曲げられる。この光ファイバ11の鋭角な曲げにより、後方への散乱光量は、激減する。これを光学時間領域反射測定器13によって計測する。このときの受光時間と光ファイバ11内での光速から亀裂29の発生地点の距離が求められる。

【0008】

【発明の実施の形態】光ファイバ11内の散乱現象には、レイリー散乱、ブリルアン散乱、ラマン散乱があり、これらの散乱光のスペクトラムは、図7に示される。レイリー散乱は、入射光と同じ周波数をもつ成分の媒質内の密度揺らぎにより生じる。ブリルアン散乱は、入射光とわずかに周波数の異なる成分と、媒質内の音波との相互作用により生じる。ラマン散乱は、入射光とわずかに周波数の異なる成分と、媒質内の分子振動などの相互作用により生じる。

【0009】本発明は、以上のような光ファイバ11内の散乱現象のうち、レイリー散乱を利用して土木構造物などの変位を計測する装置に関するものであり、図1に基づき本発明の原理を説明する。11は、光ファイバで、この光ファイバ11は、トンネルなどの長大な土木構造物12の被測定箇所に取り付けられる。前記光ファイバ11の基礎部14は、光学時間領域反射測定器13に結合される。

【0010】このような構成において、光学時間領域反射測定器13から光ファイバ11へ光パルス17を送りこむと、この光パルス17は、光ファイバ11の内部を伝播する。ここで、土木構造物12の壁面などの被測定部位に変位が生じ、これに伴い光ファイバ11に屈曲部16が生じたものとする。すると、この屈曲部16の部位にて光パルス17の一部がレイリー散乱光18となり、光パルス17の一部が基礎部14側に戻され、残りは、進行光パルス19となって末端部15側へ伝播す

る。

【0011】屈曲部16の部位では、直線部分よりも大きな光損失が生じるので、光損失曲線20の傾斜がこの部位で大きくなる。また、光ファイバ11の末端部15部位にても大きな光損失が生じる。この光損失曲線20は、光学時間領域反射測定器13の表示部で、縦軸を光損失、横軸を光ファイバ11の敷設距離として表示される。

【0012】光ファイバ11の敷設距離は、土木構造物12の長さ、土木構造物12から光学時間領域反射測定器13の設置場所までの距離などにより決定されるが、10km程度まで可能である。

【0013】光ファイバ11におけるレイリー散乱光18を捕らえるためには、光ファイバ11の変位により直径が7mm程度まで屈曲させることが必要である。ところが、土木構造物12の変位は、微小であり、光ファイバ11の屈曲から直接レイリー散乱光18を捕らえることは困難である。

【0014】そこで、本発明では、土木構造物12の変位を増幅して検出することにより、1mmかそれ以下の変位をも検出できるようにしてある。これを可能にした変位増幅手段21を図2～図5により土木構造物12がトンネルの場合を例として説明する。光ファイバ11は、図2に示すように、土木構造物12内に数10cmから1m間隔程度に固定して張り巡らせるが、前記変位増幅手段21は、土木構造物12内の亀裂29の発生箇所など、変位を測定しようとする箇所に取り付けられる。この変位増幅手段21は、変位を増幅して検出する部分と、その変位により光ファイバ11より確実に屈曲させる部分とからなる。

【0015】前記変位増幅手段21は、図3に示すように、変位伝達部材22と変位増幅ロッド23とが連結点24にて回動自在に連結され、前記変位伝達部材22の固定点25は、亀裂29を挟んだ土木構造物12の一方の壁面に固定的に取り付けられ、また、変位増幅ロッド23の固定点26は、亀裂29を挟んだ固定点25とは反対側の土木構造物12の壁面に固定的に取り付けられる。前記固定点26は、連結点24からできるだけ近い位置に設定される。また、変位増幅ロッド23の先端部には、光ファイバ11を固定的に支持するファイバ支持点27が設けられている。前記ファイバ支持点27の両側には、それぞれ屈曲発生装置30が設けられ、さらにそれぞれの外側の位置で光ファイバ11がファイバ固定具28により土木構造物12に固定されている。

【0016】前記屈曲発生装置30を図4および図5に基づき説明する。前記屈曲発生装置30は、一辺の長さが5～10cm程度で、厚さが1cm程度の耐腐食性の器体35と、この器体35に被せる蓋板36からなる。前記器体35には、第1凹部39と第2凹部40が光ファイバ11の直径の数倍の深さで、かつ互いに連通して

形成され、この連通部分の第1凹部39間には、案内突部42が設けられている。この案内突部42の外周と第1凹部39の内周の間隙部分は、光ファイバ11の直径と略同一の案内通路43となっており、また、案内突部42の両端部分は、先鋭端部46となっている。

【0017】前記第1凹部39の左右両側部から差し込み孔37が外部まで連通形成され、この差し込み孔37は、途中が光ファイバ11の直径と略同一のくびれ部38となり、また、このくびれ部38の両端開口部分は、ラッパ状に広がって第1凹部39に連通するとともに、外部に連通している。前記案内突部42の外周と対峙し、かつ、光ファイバ11の直径と略同じ間隔をもって、保持体44がワッシャ49とねじ45によって取付けられる。

【0018】前記第2凹部40の略中央には、光ファイバ11を数回巻き付けできる間隔を持って巻き付け部41が設けられ、この巻き付け部41と、前記蓋板36とを貫通する取付け孔48が穿設されている。47は、器体35と蓋板36の取付け用の組み立て孔である。

【0019】この状態で、光ファイバ11を、器体35の一方の差し込み孔37からくびれ部38、第1凹部39へ嵌め込み、さらに、案内通路43を経て第2凹部40の内部で巻き付け部41に1、2回巻きつけ、再び他方の案内通路43を経て第1凹部39に嵌め込み、他方の差し込み孔37からくびれ部38を経て取り出される。

【0020】前記光ファイバ11を屈曲発生装置30にセットするには、光ファイバ11は、第1凹部39と第2凹部40の内部で可及的に小さな曲げ損となるように、充分大きな曲率半径を持って嵌め込まれる。つまり、光ファイバ11が案内通路43、43で交差する部分に保持体44をあてがい、ワッシャ49とねじ45によって締め付けることにより、光ファイバ11を固定する。

【0021】同様にして全ての屈曲発生装置30の器体35に光ファイバ11を嵌め込み固定する。このとき、光ファイバ11に、引っ張り力がかけられないようにして、ファイバー固定具28で固定する。

【0022】つぎに土木構造物12に亀裂29が発生したときの作用を説明する。図3において、光ファイバ11に亀裂29が発生したものとする。変位伝達部材22が固定点25で固定され、変位増幅ロッド23が固定点26で固定されているので、亀裂29が図示矢印方向にxだけ変位移動したものとすると、固定点26も同様にxだけ変位移動する。ところが、連結点24は、変位伝達部材22に連結されているので、変位しない。

【0023】ここで、連結点24から固定点26までの距離をa、連結点24からファイバー支持点27までの間隔距離をbとすると、ファイバー支持点27における変位移動距離yは、 $y = x \cdot b / a$ となる。b>aとする

と、b/a倍（少なくとも10倍程度）だけ増幅されたこととなる。

【0024】光ファイバ11が変位増幅ロッド23により引っ張られると、光ファイバ11は、図3および図4の傾斜に示されるように、案内突部42の先鋭端部46の位置で鋭角に曲げられるが、場合によっては、この先鋭端部46の位置で光ファイバ11が切断する。

【0025】この光ファイバ11の鋭角な曲げまたは切断により、光ファイバ11の曲げ損が急増し、後方への散乱光量は、激減する。これを光学時間領域反射測定器13内のOTDR（光ファイバリフレクトメータ）によって計測する。この光学時間領域反射測定器13で検出された光量は、微弱であるから、何回も平均化処理を行ない、図1のような波形となる。このときの受光時間と光ファイバ11内での光還から災害発生地点の距離が求められる。

【0026】光学時間領域反射測定器13は、このようにして土木構造物12に亀裂29などの変位を検出すると、内部の発信回路などを介して管理者などに知らせる。

【0027】図3に示した前記実施例では、変位増幅ロッド23の固定点26の位置を、連結点24とファイバー支持点27との間に設けたので、増幅後の変位yが変位xの方向と同一方向になり、図中左側の屈曲発生装置30が屈曲作用点となるが、固定点26の位置を連結点24を挟んで反対方向としてもよく、この場合には、増幅後の変位yは、変位xと反対方向になり、図中右側の屈曲発生装置30が屈曲作用点となる。

【0028】前記屈曲発生装置30は、図4および図5に示すような構造に限られるものではなく、図6に示すような簡単な構造でもよく、要するに、光ファイバ11が引っ張られるとき、大直径11から小直径12に変化することにより、光ファイバ11の曲げ損が急増し、後方への散乱光量が激減するものであればよい。

【0029】また、前記変位増幅手段21は、図3に示すような変位伝達部材22と変位増幅ロッド23とを主体として構成したものに限られるものではなく、歯車、その他の機構により変位を増幅して検出できるものであってもよい。

【0030】

【発明の効果】従来のような人間が徒歩で巡回し目視点検する方法に比較し、長距離の点検作業が短時間で、連続的に常時観測できる。また、光ファイバ11と変位増幅手段21の設置のとき以外、亀裂29の発生しているトンネル12などに直接人間が入る必要がないので、落盤や土砂崩れなどが発生しても安全である。

【0031】土木構造物12や岩盤などに生じる亀裂29の進行がmm単位かそれ以下の微小であっても、変位増幅手段21により進行状態の判断がきわめて正確で、経時的な変化を把握することが容易である。屈曲発生装

置 30 は、光ファイバ 11 の途中を可及的に小さな曲げ損となるような曲率を持って収納固定するとともに、この固定位置に、先鋭端部 46 を有する案内突部 42 を設けた構成としたので、機械的に可動する部品がなく、長期間設置したままであっても確実に動作する。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明によるレイリー散乱を利用した変位計測装置の原理的な動作の説明図である。

【図 2】本発明によるレイリー散乱を利用した変位計測装置を土木構造物 12 内に設置した状態の一部切り欠いた説明図である。

【図 3】本発明による変位増幅手段 21 の拡大説明図である。

【図 4】屈曲発生装置 30 の断面図である。

【図 5】図 4 における屈曲発生装置 30 の A-A 線断面図である。

【図 6】屈曲発生装置 30 の他の実施例の説明図であ

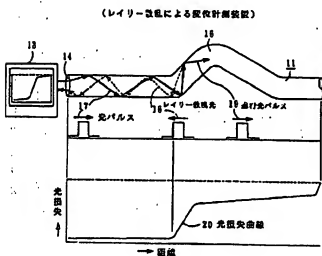
る。

【図 7】光ファイバ 11 内の散乱現象を説明する散乱光のスペクトラムである。

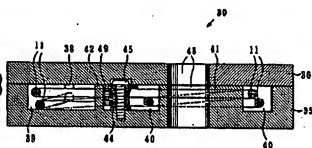
【符号の説明】

11…光ファイバ、12…土木構造物、13…光学時間領域反射測定器、14…基端部、15…末端部、16…屈曲部、17…光パルス、18…レイリー散乱光、19…進行光パルス、20…光損失曲線、21…変位増幅手段、22…変位伝達部材、23…変位増幅ロッド、24…連結点、25…固定点、26…固定点、27…ファイバ支持点、28…ファイバ固定具、29…亀裂、30…屈曲発生装置、35…器体、36…蓋板、37…差し込み孔、38…くびれ部、39…第 1 凹部、40…第 2 凹部、41…巻き付け部、42…案内突部、43…案内通路、44…保持体、45…ねじ、46…先鋭端部、47…組み立て孔、48…取付け孔、49…ワッシャ。

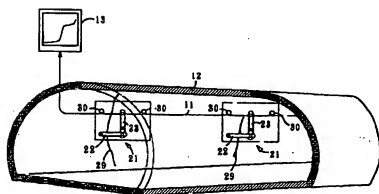
【図 1】



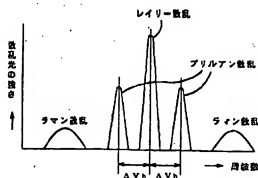
【図 5】



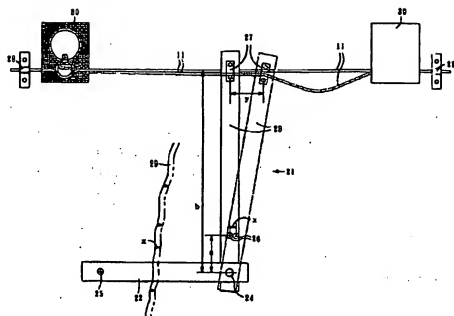
【図 2】



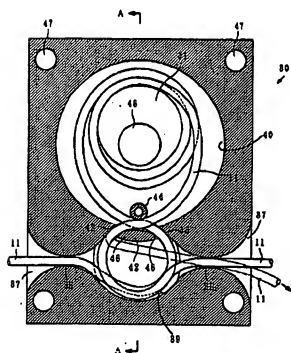
【図 7】



【図3】



【図4】



【図6】

